

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-317900

(P2000-317900A)

(43) 公開日 平成12年11月21日 (2000. 11. 21)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト*(参考)
B 8 1 C 1/00		B 8 1 C 1/00	2 G 0 1 1
C 0 3 B 23/00		C 0 3 B 23/00	4 K 0 2 9
C 2 2 C 45/00		C 2 2 C 45/00	4 K 0 4 4
C 2 3 C 30/00		C 2 3 C 30/00	Z
// C 2 3 C 14/35		14/35	Z
審査請求 有 請求項の数16 O L (全 23 頁) 最終頁に続く			

(21) 出願番号 特願平11-126680

(22) 出願日 平成11年 5 月 7 日 (1999. 5. 7)

(71) 出願人 391012316

東京工業大学長

東京都目黒区大岡山 2 丁目12番 1 号

(72) 発明者 下河辺 明

東京都町田市つくし野 2-24-7

(72) 発明者 秦 誠一

東京都町田市成瀬台 2-32-3 ポプラが

丘コープ20-303

(74) 代理人 100059258

弁理士 杉村 暁秀 (外 2 名)

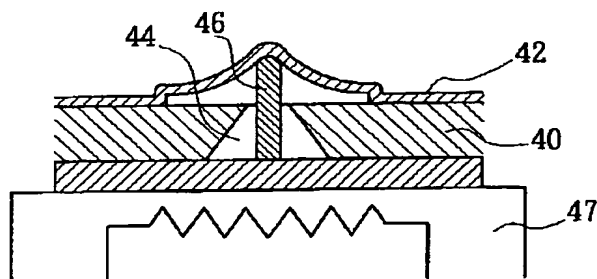
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄膜構造体の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 高い生産性と高い再現性とを有し、成形後の形状安定性に優れた薄膜構造体の製造方法を提供する。

【解決手段】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定に基板上に形成する。そして、この薄膜を前記過冷却液体域に加熱し、機械的な外力、静電的な外力などによって湾曲させ、薄膜構造体を形成する。そして、前記過冷却液体域から室温まで冷却することによって前記薄膜の変形を終了させる。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を立体的に変形させてなることを特徴とする、薄膜構造体。

【請求項 2】 前記過冷却液体域のガラス転移温度が 200～600℃の温度範囲内にあり、過冷却液体域の温度幅が 20℃以上であることを特徴とする、請求項 1 に記載の薄膜構造体。

【請求項 3】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に形成する工程と、
前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱し、前記薄膜を所定の形状に変形させて薄膜構造体を形成する工程と、
前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、薄膜構造体の製造方法。

【請求項 4】 前記過冷却液体域のガラス転移温度が 200～600℃の温度範囲内にあり、過冷却液体域の温度幅が 20℃以上であることを特徴とする、請求項 3 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 5】 前記薄膜構造体の形成は、前記薄膜の自重によって行うことを特徴とする、請求項 3 又は 4 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 6】 前記薄膜構造体の形成は、機械的な外力によって行うことを特徴とする、請求項 3 又は 4 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 7】 前記薄膜構造体の形成は、静電的な外力によって行うことを特徴とする、請求項 3 又は 4 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 8】 前記薄膜は導電性材料からなり、前記薄膜構造体の形成は、前記薄膜と対向させて対向電極を形成し、前記薄膜と前記対向電極との間に所定の電圧を印加することにより、前記薄膜と前記電極との間に発生した静電力によって行うことを特徴とする、請求項 7 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 9】 前記電圧の印加は、前記薄膜に隣接して形成した導電性材料からなる電極層と前記対向電極との間で行うことを特徴とする、請求項 8 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 10】 前記薄膜構造体の形成は、磁気的な外力によって行うことを特徴とする、請求項 3 又は 4 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 11】 前記薄膜構造体の形成は、前記薄膜と隣接させて磁性材料からなる磁性層を形成し、この磁性層と前記対向磁石との間に発生する磁力によって行うことを特徴とする、請求項 10 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 12】 前記薄膜の加熱は、前記過冷却液体域と前記磁性層を構成する磁性材料のキュリー点との間で行うことを特徴とする、請求項 11 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 13】 前記磁性層は、キュリー点 210～1200℃である磁性材料からなることを特徴とする、請求項 12 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 14】 前記磁性層は、Ni、Fe、Co 及び Mn から選ばれる少なくとも 1 種の磁性材料からなることを特徴とする、請求項 13 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 15】 前記薄膜構造体の形成は、前記非晶質材料と熱膨脹係数の異なる材料からなる補助層を前記薄膜と隣接するように形成し、前記薄膜と前記補助層との熱膨脹差によって前記薄膜と前記補助層との界面に生じる応力により行うことを特徴とする、請求項 3 又は 4 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 16】 前記補助層は、200℃以上における熱膨脹係数が 5×10^{-6} 以下又は、 $15 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$ の範囲であることを特徴とする、請求項 15 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 17】 前記薄膜構造体の形成は、内部応力を有する補助層を前記薄膜と隣接するように形成し、前記薄膜と前記補助層との内部応力差により前記薄膜と前記補助層との界面に生じる応力により行うことを特徴とする、請求項 3 又は 4 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 18】 前記補助層は、圧縮又は引張りの内部応力を有し、内部応力の絶対値が 1MPa～3GPa であることを特徴とする、請求項 17 に記載の薄膜構造方法。

【請求項 19】 前記補助層の厚さが、前記薄膜の厚さの $1/100$ 以下であることを特徴とする、請求項 15～18 のいずれか一に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 20】 前記補助層は、前記薄膜構造体を形成した後、室温において除去することを特徴とする、請求項 15～18 のいずれか一に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 21】 前記補助層は、前記基板を構成する材料と前記薄膜を構成する材料とが混合してなる混合層であることを特徴とする、請求項 15 又は 17 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項 22】 前記混合層の厚さが、前記薄膜の厚さの $1/100$ 以下であることを特徴とする、請求項 21 に記載の薄膜構造体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、薄膜構造体及びその製造方法に関し、さらに詳しくはマイクロアクチュエータなどのマイクロマシン、探針、触針、マイクロセンサなどの各種センサ、及び走査型プローブ顕微鏡用プローブなどの各種プローブの構造部品などとして好適に使用することのできる、薄膜構造体及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】マイクロマシン、各種センサ、各種プローブなどは、基板面外へ作用する力の発生や、逆に基板外の各種近接効果や流体の流動、他の電子回路の電圧などを検出する必要がある。このため、半導体製造に用いられる薄膜成膜技術及び微細加工技術を応用したマイクロマシーニングにより、様々な薄膜からなる梁などの平面構造体を立体的に変形させた薄膜構造体が用いられるようになってきている。

【0003】従来、立体的な薄膜構造体を製造する方法としては、以下の方法が用いられてきた。

1) 異なった熱膨張係数を有する2種類以上の層からなる平面構造体を作製し、バイモルフ効果により、立体的な薄膜構造体を製造する方法。

2) ポリシリコンからなる平面構造体をマイクロプローブで保持し、通電加熱により加熱・変形させ立体的な薄膜構造体を製造する方法。

3) スパッタリング法などによって薄膜を形成し、成膜時の残留応力を利用して、立体的な薄膜構造体を製造する方法。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、バイモルフ効果を利用した方法では、薄膜構造体を製造した後においても熱膨張係数の違う層が存在するため、常温付近でのバイモルフ効果によって使用時の温度変化に起因して薄膜構造体が経時的に変化してしまうという問題がある。また、ポリシリコンを加熱・変形させる方法では、材料がポリシリコンに限定され、所望の強度、弾性限界などの特性を構造に付与することが難しい。さらに作製した個々の平面構造体をマイクロプローブで保持しなければならず、生産性に乏しいという問題がある。さらに、成膜時の残留応力を利用する方法では、再現性に乏しく、残留応力の経時変化により薄膜構造体の形状が変化するという問題点があった。

【0005】本発明は、高い生産性と高い再現性とを有し、成形後の形状安定性に優れた薄膜構造体及びその製造方法を提供することを目的とする。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明は、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を立体的に変形させることを特徴とする、薄膜構造体である。

【0007】また、本発明は、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に形成する工程と、前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱し、前記薄膜を所定の形状に変形させて薄膜構造体を形成する工程と、前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、薄膜構造体の製造方法である。

【0008】本発明者らは、上記問題点を解決すべく、薄膜構造体を構成する新たな材料及び製造方法を開発すべく研究を重ねた。その結果、薄膜構造体を過冷却液体

域を有する非晶質材料から構成するとともに、前記非晶質材料からなる薄膜を前記過冷却液体域にまで加熱し、前記薄膜の温度が前記過冷却液体域にあるときに、前記薄膜を所定の形状に変形させることによって上記問題を解決できることを見出した。

【0009】すなわち、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を前記過冷却液体域まで加熱すると、前記薄膜はガラス転位現象を生じる。すると、それまで固体状で高い剛性を有していた薄膜は半固体状（過冷却液体）となり、粘度が $10^8 \sim 10^{13} \text{ Pa} \cdot \text{S}$ の粘性流動を示すようになる。したがって、外部的な力を印加することのみならず、薄膜自体の重さによって自ら変形することが可能となる。さらに、この温度域において前記薄膜は極めて軟性を示すため、所望するあらゆる形状を簡易に形成することができる。そして、前記薄膜が前記過冷却液体域よりも低い温度に冷却されると、再び前記薄膜は固体状となって高い剛性を示すようになる。したがって、前記過冷却液体域において所望する形状に作製された前記薄膜は、その形状を維持したまま高い剛性を有する固体状物となる。

【0010】本発明は、過冷却液体域を有する非晶質材料の上記のような特性を見出すとともにこの特性に着目し、この特性を利用することによってなされたものである。本発明の薄膜構造体及びその製造方法によれば、非晶質材料からなる薄膜が過冷却液体域に加熱されたときのみ、前記薄膜が粘性流動を示すため簡易に前記薄膜の形状を変化させることができる。そして、室温近傍の通常の使用状態においては前記薄膜の剛性が極めて高くなるため、前記薄膜の形状をほとんど変化させることができなくなる。したがって、高い生産性と高い再現性とを有し、成形後の形態安定性に優れた薄膜構造体を提供することが可能となる。

【0011】なお、本発明における「過冷却液体域」とは、ガラス転移温度(T_g)から結晶化開始温度(T_x)までの温度領域(ΔT_x)をいう。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明を発明の実施の形態に則して詳細に説明する。本発明の薄膜構造体は、過冷却液体域を有する非晶質材料からなることが必要である。本発明の目的を達成できるものであれば、このような非晶質材料の種類は限定されない。酸化珪素ガラス(SiO_2 、パイレックスガラス等)、カルコゲナイド半導体(As-S 、 Si-As-Te 等)、及び一部の非晶質合金(Zr-Cu-Al や Pd-Cu-Si など)の金属ガラスを例示することができる。

【0013】しかしながら、過冷却液体域のガラス転移温度が $200 \sim 600^\circ\text{C}$ の温度範囲にある非晶質材料を使用することが好ましく、さらには $250 \sim 400^\circ\text{C}$ の温度範囲にある非晶質材料を使用することが好ましい。非晶質材料がこのような比較的低いガラス転移温度を有

することによって、薄膜の加熱行程が簡素化される。また、非晶質材料を成膜する基板や、基板を保持する治具などの材料などの材料選択の幅が広がる。ガラス転移温度周辺の非晶質材料は、一般的に $10^{13} \sim 10^{11} \text{ Pa} \cdot \text{S}$ の粘度を有するので、薄膜の粘度が低下しすぎて短時間に大きく変形することにより、薄膜自体が過剰に変形したり、破壊したりすることを防止できる。また、このような非晶質材料は室温近傍において極めて高い剛性を有する。したがって、過冷却液体域で薄膜を変形させることによって得た形状が、室温近傍における使用過程においてほとんど変化しなくなる。したがって、極めて形状安定性に優れた薄膜構造体の提供が可能となる。

【0014】さらに、過冷却液体域の温度幅は 20°C 以上であることが望ましい。このように比較的広い過冷却液体域を有することによって、薄膜の加熱工程が簡易化される。また、このように比較的広い過冷却液体域を有することによって、加熱時の温度変動による影響を低減することができる。このような非晶質材料としては、 $\text{Zr}_{66}\text{Cu}_{33}\text{Al}$ 、 $\text{Pd}_{76}\text{Cu}_6\text{Si}_{18}$ 及び酸化ボロンなどを例示することができる。

【0015】本発明の薄膜構造体は、前記のような非晶質材料からなる薄膜を過冷却液体域まで加熱して製造することが必要である。薄膜を加熱する手段としては、赤外線加熱、誘導加熱、抵抗加熱などの公知の加熱手段を用いることができる。

【0016】さらに、本発明の薄膜構造体は、前記薄膜を過冷却液体域に加熱した後、前記薄膜がこの温度状態にあるときに前記薄膜を所定の形状に変形させることが必要である。薄膜を変形させる手段としては、薄膜に対して機械的な外力、静電的な外力、磁気的な外力を加えて行う他、バイモルフ効果を利用する方法、及び薄膜の自重を利用する方法などがある。以下、それぞれについて説明する。

【0017】（薄膜の自重によって変形させる方法）通常、 μm オーダの寸法を持つ薄膜では、自重による変形は極めて少ない。しかしながら、このような薄膜を過冷却液体域に加熱すると前記薄膜は粘性流動を示すため、自重によって容易に変形する。また過冷却液体域より低い温度では粘性流動を示さず、薄膜はほとんど変形しない。したがって、この場合の変形量は前記薄膜の粘度と前記薄膜が過冷却液体域に加熱保持されている時間とに依存する。すなわち、粘度が小さく加熱保持時間が長い程、変化量は増大する。また、薄膜にエッチングなどを施すことにより薄膜を梁形状にし、さらに梁の先端部分に幅広部やバンプ状の突起を設け、先端部分の質量を増すことによって薄膜の変形量をさらに大きくすることもできる。

【0018】（機械的な外力によって変形させる方法）この場合においては、薄膜を過冷却液体域まで加熱する前に前記薄膜に微細針などにより外力を与えて変形さ

せ、過冷却液体域の加熱行程中、この外力を保持する。そして、この状態で前記薄膜を過冷却液体域まで加熱すると、薄膜が軟化して外力による変形の応力を緩和するため永久ひずみを生じるようになる。そして、この永久ひずみを持って薄膜の変形量とするものである。また、マイクロマニピュレータなど適当な微細針駆動機構を用いる場合は、薄膜を過冷却液体域に加熱した後、前記微細針駆動機構に取り付けられた微細針によって前記薄膜を加熱保持している最中に直接的に変形させることもできる。

【0019】（静電的な外力によって変形させる方法）前記薄膜が $\text{Zr}_{66}\text{Cu}_{33}\text{Al}$ などの過冷却液体域を有する非晶質材料であって導電性を有する場合、この薄膜に対向させて絶縁層を有する対向電極を形成する。そして、前記薄膜と前記対向電極との間に外部電源を接続し、電圧を印加する。すると、前記薄膜と前記対向電極との間に静電場が発生し、これに伴って両者の間に静電力が発生する。過冷却液体域に加熱された粘性流動状態にある薄膜は、この静電力による吸引あるいは反発を受けることによって容易に所定の形状に変化する。

【0020】前記薄膜が、酸化物ガラスなどの不導体である場合は、スパッタなど公知の成膜方法により、金などの導電性材料からなる電極層を前記薄膜と隣接するように形成する。そして、前記電極層と前記対向電極との間に外部電源を接続して電圧を印加し、この間に静電力を発生させることによって、前記同様に過冷却液体域にある薄膜を変形させる。薄膜の変形量は、前記薄膜と前記対向電極とのギャップ、印加する電圧、および加熱温度と加熱時間により制御できる。なお、電圧印加による静電力の発生は、前記薄膜の加熱前後のいずれでもよい。

【0021】（磁気的な外力によって変形させる方法）磁気的な外力によって薄膜を変形させる場合は、前記薄膜と隣接させて磁性層を形成する。そして、前記磁性層と対向させて永久磁石又は電磁石などの対向磁石を設置する。そして、前記磁性層と前記対向電極との間に発生する磁力による吸引あるいは反発によって、過冷却液体域にある前記薄膜を変形させる。

【0022】このように磁気的な外力によって薄膜を変形させる場合、前記磁性層を構成する磁性材料のキュリー点が、過冷却液体域を有する前記薄膜のガラス転位温度よりも高いことが必要である。これによって、前記薄膜を過冷却液体域に加熱した場合においても、前記磁性層は磁性を維持することが可能であるため、本方法によって前記薄膜を変形させることができる。薄膜の変形量は前記薄膜などと磁石とのギャップ、磁束密度、及び加熱温度、加熱時間により制御することができる。

【0023】また、本方法による場合、前記磁性層を構成する磁性材料のキュリー点が $210 \sim 1200^\circ\text{C}$ であることが好ましく、さらには $350 \sim 1150^\circ\text{C}$ である

ことが好ましい。これによって、前記薄膜を過冷却液体域まで加熱した場合においても前記薄膜などが十分に大きい磁化を有するため、前記ギャップや前記磁束密度などで決定される磁気的な外力のみによって、前記薄膜を所望の形状に簡易に形成することができる。このような磁性材料としてはFe、Ni、Co及びNi₃Feを好ましくは用いることができる。

【0024】(バイモルフ効果によって変形させる方法)バイモルフ効果によって薄膜を変形させるためには、前記薄膜と熱膨脹係数又は内部応力の異なる補助層を前記薄膜と隣接させて形成する。そして、前記薄膜を過冷却液体域に加熱した際に、前記薄膜と前記補助層との熱膨脹差又は内部応力差に起因し、両者の界面に発生した応力によって前記薄膜を変形させる。具体的には、薄膜と隣接させて前記薄膜と熱膨脹係数の異なる材料からなる補助層や、スパッタ時の雰囲気圧などの成膜条件を操作することによって内部応力を発生させた補助層を直接形成したり、基板を構成する材料と前記薄膜を構成する材料との混合層から補助層を構成したりすることができる。

【0025】前者の場合においては、補助層が薄膜を構成する非晶質材料の過冷却液体域までの加熱に耐え得るような耐熱性を有することが必要である。具体的には、200℃以上における熱膨脹係数が 5×10^{-6} 以下又は $15 \times 10^{-6} \sim 40 \times 10^{-6}$ の範囲にある材料から前記補助層を構成することが好ましい。このような材料としては、SiO₂、Si₃N₄、Cr、Ni及びAlなどを挙げることができる。また、内部応力を有する補助層としては、内部応力の絶対値が1MPa～3GPa、さらに好ましくは10MPa～100MPaである材料、具体的には直流スパッタ法によりスパッタ時のアルゴン雰囲気圧力0.3Pa、スパッタ電圧500Vで成膜されたCr層などを用いることができる。また、この場合において補助層の厚さを大きくし過ぎると「従来の技術」で述べたように、常温付近のバイモルフ効果によって薄膜構造体の形状が経時的に変化してしまう場合がある。したがって、前記補助層の厚さは薄い方が好ましい。具体的な厚さは前記薄膜と前記補助層とのヤング率によって決定されるが、両者のヤング率が同じ程度の場合、前記補助層の厚さは前記薄膜の厚さの1/100以下が好ましく、さらには10～200nmの範囲にあることが好ましい。

【0026】さらに、過冷却液体域を有する薄膜と補助層との間にエッチング耐性の差がある場合、前記補助層を前記薄膜や基板を侵さないエッチャントで除去することにより、常温付近におけるバイモルフ効果を防止し、薄膜構造体の形状が経時的に変化することを防止できる。

【0027】また、基板と過冷却液体域を有する非晶質材料からなる混合層で前記補助層を構成する場合は、ス

パッタリングによって前記薄膜を形成する過程において、例えばスパッタ時の雰囲気圧力及びスパッタ出力などのスパッタリング条件を制御することによって、前記基板が逆スパッタされるようにする。すると、前記薄膜中に基板構成粒子が混入し、前記のような混合層を形成することができる。この場合においても混合層の厚さが前記薄膜の厚さに比べて大きくなり過ぎると、常温付近でのバイモルフ効果によって、薄膜構造体の形状が経時的に変化する場合がある。したがって、補助層を混合層によって構成する場合においても、前記同様の厚さによる制限を課すことが好ましい。

【0028】本方法によって薄膜を変形させる場合、薄膜の変形量は、前記薄膜及び前記補助層のヤング率、厚さ、及びこれらの熱膨脹係数の差と、加熱温度及び加熱時間とに依存する。

【0029】上記のようにして薄膜を変形させ、薄膜構造体を形成した後は、熱放射などによる自然冷却、冷却用ガス導入による冷却、冷却盤との接触による冷却などの冷却手段を用いて室温まで冷却する。また、磁気的な外力によって変形させる場合は、水冷した電磁石などに接触させることによっても行うことができる。また、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を基板上に形成する手段としては、スパッタリング、蒸着法などの物理蒸着法や、CVD法などの化学蒸着法などによって形成することができる。

【0030】本発明の薄膜構造体を構成する前記薄膜の厚さは特に限定されず、用途に応じてあらゆる厚さに形成することができる。しかしながら、各種センサや各種プローブなどに使用する場合は、一般に1～20μmの厚さに形成する。また、前記薄膜は用途に応じてウェットエッチング法、ドライエッチング法、及びリフトオフ法などによって、予め所望の平面構造体に形成しておくこともできる。

【0031】

【実施例】以下、本発明を実施例に基づいて詳細に説明する。

実施例1

本実施例においては、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、薄膜の自重によって変形させた。図1～5は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図1は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図2は、図1に示す平面図のI-I線における断面図を示したものである。そして、図3～5は、それぞれ図1及び2に続く工程を経時的に示した断面図である。基板10には厚さ200μm、結晶方位100面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0032】最初に、図1及び2に示すように基板10の主面10A上にポリイミド膜をスピコート法により厚さ5μmに形成し、RIE(反応性イオンエッチン

グ)を用いてパドル部12を有する片持ち梁形状のネガパターン13を形成した。次いで、図3に示すように、スパックリング法により、 $Zr_{66}Cu_{33}Al_1$ の金属ガラスからなる薄膜14を基板10の主面10A上に厚さ $2\mu m$ に形成した。次いで、図3に示すように、基板10の裏面10B上に、スピンコートによってレジストからなる保護層15を厚さ約 $1\mu m$ に形成した。次いで、図4に示すように、基板10を40重量%の水酸化カリウムにより $80^\circ C$ で2時間ウェットエッチングを行ってネガパターン13を除去し、薄膜14をパターニング(リフトオフ)した。さらに、基板10を異方性エッチングしてエッチピット16を形成し、薄膜14を片持ち梁構造状に形成した。次いで、保護層15をメチルエチルケトンに5分間浸漬してエッチング除去した。

【0033】次いで、図5に示すように、パターニングされた薄膜14上に熱電対17とTi箔(厚さ $50\mu m$)のカバー18を設置した。そして、このようなアセンブリを真空容器19に入れ、図示しない真空ポンプにより $10^{-4}Pa$ 以下まで排気した。

【0034】真空容器19には石英ガラス窓20が具備され、この石英ガラス窓20上には赤外線ヒータ21が設置されている。また、この赤外線ヒータ21と熱電対17は温度調節器22に接続されており、熱電対17によって薄膜14の温度を直接モニタリングしながら、赤外線ヒータ21によって設定した温度まで加熱することができるようにになっている。カバー18は、高温で活性なTiからなっている。このため、加熱中に残留酸素などを吸着し、同じく高温活性な薄膜14の酸化を防ぐとともに、赤外線ヒータ21の加熱むらを平均化し、薄膜14を均一に加熱することができる。

【0035】図6は、上記金属ガラスからなる薄膜14の過冷却液体域を示差走査熱量計(DSC)で測定した示差走査熱量計曲線のグラフである。図から明らかなように、薄膜14のガラス転移点 T_g は $360^\circ C$ であり、結晶化開始温度 T_x は $421^\circ C$ であり、これから過冷却液体域 ΔT_x は $61^\circ C$ であることが分かった。そこで、図6による測定結果から、加熱速度 $10^\circ C/分$ で薄膜14を赤外線加熱により $387^\circ C$ まで加熱し、5分間保持した。その後、放射冷却を制御することにより、冷却速度 $10^\circ C/分$ で室温まで冷却し、薄膜14を有するアセンブリを真空容器19より取り出した。

【0036】図7及び8は、上記加熱処理前後の薄膜14の状態を示す走査型電子顕微鏡写真である。図7及び8から明らかなように、本発明にしたがって加熱処理した後は、薄膜14が下方に湾曲した(約 $150\mu m$)片持ち梁構造の薄膜構造体が得られた。

【0037】なお、本実施例では薄膜14としてZr基の金属ガラスを用いたが、他のガラス金属、例えば $Pd_{76}Cu_6Si_{18}$ 、 SiO_2 などの酸化物ガラスを用いることもできる。さらに、図1に示すパドル部12の代

わりに、図9に示すようなハンダバンプ30を設けたり、図10に示すような同一または異なる薄膜によって先端部に厚みを持たせた厚膜部31を設けたりした梁構造によっても同様の効果を奏する。

【0038】また、本実施例及び図9、10に示す例は、片持ち梁構造の薄膜14のたわみ量を比較的大きくするために、梁の先端重量を増大させたものである。しかしながら、たわみ量を大きくしない場合においては、このような手段を講じる必要はない。さらに、本実施例では薄膜14をエッチピット16側にたわませたが、基板10を裏返すことによって、薄膜14をエッチピット16と反対側にたわませることもできる。

【0039】実施例2

本実施例においては、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、機械的な外力によって変形させた。図11~15は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図11は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図12~15は、それぞれ図11に続く工程を経時的に示す断面図である。また、図13は、図12に示す平面図のII-II線における断面図を示したものである。基板40には、厚さ $200\mu m$ 、結晶方位100面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0040】図11に示すように、基板40の主面40A上にスピンコート法によりレジストを厚さ $1\mu m$ で塗布し、露光装置により長方形の犠牲層41をパターニングして形成した。次いで、基板40の主面40Aにおいて、犠牲層41の全体を覆うようにして酸化ボロン(B_2O_3)からなる薄膜42を、CVD法によって厚さ約 $2\mu m$ に形成した。次いで、基板40の裏面40Bに、レジストを同じくスピンコート法により厚さ $0.5\mu m$ に塗布した後、パターニングしてマスク43を形成した。次いで、このマスク43を利用することによって、基板40を $80^\circ C$ の水酸化カリウム(KOH)水溶液(濃度40重量%)に1.6時間浸漬してエッチングを行い、犠牲層41まで達する貫通穴44を形成した。

【0041】次いで、図12及び13に示すように、図示しないレジストからなる保護膜を薄膜42上に形成した後、フッ酸緩衝液に浸漬してエッチングを行い、薄膜42を両持ち梁形状に形成した。その後、犠牲層41及びマスク43をメチルエチルケトンで剥離・除去した。次いで、図14に示すように、SUS304製の治具46を貫通穴44より薄膜42に押し当てた状態で、ヒータと温度制御器からなる加熱装置47に載置した。次いで、 $560^\circ C$ まで加熱速度 $10^\circ C/分$ で加熱し、この温度で2分間保持した。なお、薄膜42を構成する酸化ボロンのガラス転移温度 T_g は $553^\circ C$ であった。その後、ヒータ加熱によって自然冷却を制御することにより、 $10^\circ C/分$ の冷却速度で薄膜42を室温まで冷却し、加熱装置47と治具46を取り外した。すると、図

15に示すような立体的な薄膜構造体48が得られた。

【0042】実施例3

本実施例においては、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、静電的な外力によって変形させた。図16～20は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図16は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図17～20は、それぞれ図16に続く工程を経時的に示す断面図である。また、図18は、図17に示す平面図のII I - III 線における断面図を示したものである。基板50には厚さ250 μ m、結晶方位100面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0043】最初に、図16に示すように、基板50の主面50A上にクロム薄膜51をスパッタリング法により厚さ50nmに形成した。次いで、クロム薄膜51上に酸化ボロンからなる薄膜52をCVD法により厚さ約2 μ mに形成した。次いで、図17及び18に示すように、薄膜52上に図示しないレジストからなる保護膜を形成した後、フッ酸緩衝液に浸漬してエッチングを行い、薄膜52及びクロム薄膜51をパターンニングした。次いで、基板50の裏面50Bに図示しないレジストからなる保護膜を形成した後、基板50を80℃の水酸化カリウム水溶液（濃度40重量%）に2時間浸漬させてエッチングを行い、エッチピット54を形成した。

【0044】次いで、図19に示すように、薄膜52の上方に直径50 μ mのガラスビーズ60を介して成形用電極59を設置した。成形用電極59は、酸化シリコンからなる絶縁層58と、クロム電極57と、石英ガラス56とが積層されて構成されている。次いで、基板50と成形用電極59とを外部電源61に接続し、両者に一定の電圧Vを印加することによって、クロム薄膜51と成形用電極59との間に静電力を発生させ、これによって薄膜52を成形用電極59に吸着させた。次いで、基板50の裏面50側に加熱装置62を設ける。そして、基板50を加熱速度10℃/分で560℃まで加熱し、2分間保持した。なお、酸化ボロンのガラス転移温度T_gは553℃であった。その後、加熱装置により自然冷却を制御することによって冷却速度10℃/分で室温まで冷却した。その結果、図20に示すような薄膜構造体63が得られた。

【0045】本実施例では、基板50と成形用電極59との間に高電圧を印加し、これらの間に大きな静電力を発生させている。したがって、薄膜52を過冷却液体域に加熱する以前において、薄膜52が成形用電極59に吸着している。しかしながら、基板50と成形用電極59との間に比較的低い電圧を印加した場合においても、薄膜52を過冷却液体域に加熱することにより薄膜52が粘性流動を示すため、薄膜52が成形用電極59に吸着して薄膜構造体63を形成することができる。

【0046】実施例4

本実施例では、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、磁気的な外力によって変形させた。図21～26は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図21は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図22は、図21に示す平面図のIV-IV線における断面図を示したものである。そして、図23～26は、それぞれ図21及び22に続く工程を経時的に示す断面図である。基板70には厚さ250 μ m、結晶方位100面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0047】最初に、図21及び22に示すように、基板70の主面70A上にスピンコート法によってポリイミド膜を厚さ5 μ mに形成した後、RIEによって片持ち梁形状のネガパターン72を形成した。次いで、図23に示すように、スパッタリング法により、基板70の主面70A上にPd₆₁Pt₁₅Cu₆Si₁₈の金属ガラスからなる薄膜73を、ネガパターン72を覆うようにして厚さ2 μ mに形成した。次いで、薄膜73上に強磁性体であるCoからなる磁性層74を厚さ0.5 μ mとなるように、スパッタリング法によって形成した。さらに、基板70の裏面70B上にレジストからなる保護層75を、スピンコートにより厚さ約1 μ mに形成した。

【0048】次いで、図24に示すように、80℃に加熱した水酸化カリウム（濃度40重量%）に基板70を2時間浸漬させることによってウェットエッチングを行い、ネガパターン72を除去することによって、薄膜73と磁性層74とをパターンニング（リフトオフ）した。そして、基板70を異方性エッチングすることによって、エッチピット77を形成した。その後、保護層75をメチルエチルケトンに5分間浸漬させることによってエッチング除去した。次いで、図25に示すように基板70の裏面70B側に加熱装置78を設け、この加熱装置78によって、薄膜73を加熱速度10℃/分で425℃まで加熱した。なお、Pd₆₁Pt₁₅Cu₆Si₁₈のガラス転位温度T_gは357℃であった。

【0049】そして、薄膜73の温度が425℃になったところで、図示しない直動機構によって駆動されるシャフト79に接続された永久磁石80を磁性層74に接近させた。この場合において、基板70と永久磁石80とのギャップは、前記直動機構に具備された変位センサのデータより決定される。また、永久磁石80の極性は、薄膜73と対向する側をN極とし、反対側をS極とした。さらに永久磁石80を熱より保護する目的で、冷却管81を永久磁石80内に設けた。なお、Coのキュリー点は1131℃であるので、前記のように425℃まで加熱した場合においても、その強磁性を失うことがない。

【0050】上記温度に薄膜73を加熱することによって、薄膜73は過冷却液体域にあって軟化しているため、磁性層74が永久磁石80に吸引されるのにしたが

って変形する。薄膜73の変形が進んで磁性層74が永久磁石80に吸着すると、薄膜73は冷却され、ガラス転移温度357℃以下になった時点で変形が固定される。これによって図26に示すような薄膜構造体82を得ることができた。なお、磁性層74は薄膜構造体82を得た後に、必要に応じ塩酸などでエッチング除去することもできる。

【0051】実施例5

本実施例では、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、バイモルフ効果によって変形させた。図27～32は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図27は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図28は、図27に示す平面図のV-V線における断面図を示したものである。そして、図29～32は、それぞれ図27及び28に続く工程を経時的に示す断面図である。基板90には厚さ200μm、結晶方位100面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0052】最初に、図27及び28に示すように、基板90の主面90A上にポリイミド膜をスピコート法によって厚さ5μmに形成した後、RIEによって片持ち梁形状のネガパターン92を形成した。次いで、図29に示すようにPd₆₁Pt₁₅Cu₆Si₁₈の金属ガラスからなる薄膜93をスパッタリング法により、厚さ2μmに形成した。さらに、基板90の裏面90Bにレジストからなる保護層94を、スピコートにより厚さ約1μmに形成した。次いで、図30に示すように、80℃に加熱した水酸化カリウム（濃度40重量%）に3時間浸漬することによりウェットエッチングを行い、ネガパターン92を除去することにより薄膜93をパターンニング（リフトオフ）して、片持ち梁形状の薄膜95を形成した。さらに、基板90を異方性エッチングすることによって、基板90の基部96のみが残るようにした。その後、保護膜94をメチルエチルケトンに5分間浸漬させることによって除去した。

【0053】次いで、図31に示すように、このアセンブリを加熱装置97を有する図示しないスパッタリング装置内に入れた。その後、スパッタリング装置内を10⁻³Paまで真空排気した後に、アルゴンガスを圧力が0.4Paとなるように導入した。そして、加熱速度10℃/分で425℃まで加熱するとともに、加熱温度が3355℃を超えた時点で、スパッタリングによってクロム層98を片持ち梁形状の薄膜95上に、厚さ約0.1μmに形成した。なお、Pd₆₁Pt₁₅Cu₆Si₁₈のガラス転位温度T_gは上記したように357℃であった。薄膜95の温度が357℃を超えた時点において、クロム層98内部に発生した圧縮応力により、薄膜95とクロム層98との界面には薄膜95は下方へ引っ張る力が作用する。その結果、薄膜95は下方へ垂れ下がった形状を呈するようになった。

【0054】そして、クロム層98の形成が完了するとともに加熱を終了し、加熱装置により放射冷却を制御することによって、10℃/分の冷却速度で室温まで冷却した。薄膜95の温度が薄膜95を構成する金属ガラスの過冷却液体域より低くなると、薄膜95の変形は終了する。したがって、最終的に図32に示すような薄膜構造体99を得た。薄膜構造体99を得た後、クロム層98は必要に応じて塩酸でエッチング除去することもできる。

【0055】実施例6

本実施例では、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、バイモルフ効果によって変形させた。但し、実施例5と異なり、基板と前記薄膜を構成する非晶質材料とからなる混合層を形成し、この混合層と前記薄膜とのバイモルフ効果を利用した。図33～37は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図33は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図34は、図33に示す平面図のVI-VI線における断面図を示したものである。そして、図35～37は、それぞれ図33及び34に続く工程を経時的に示す断面図である。基板100には厚さ200μm、結晶方位100面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0056】最初に、図33及び34に示すように、基板100の主面100A上にスピコート法によってポリイミド膜を厚さ5μmに形成した。そして、RIEにより片持ち梁形状のネガパターン12を形成した。次いで、図35に示すように、Zr₆₆Cu₃₃Al₁の金属ガラスからなる薄膜104を、高周波マグネトロンスパッタリング法により基板100の主面100A上に厚さ2μmに形成した。そして、薄膜104を形成する際に、スパッタリング条件を雰囲気圧力0.03Pa、スパッタ出力150Wとすることによって、基板100の主面100Aが薄膜104を構成する元素によって逆スパッタされるようにした。その結果、基板100と薄膜104との間に、前記金属ガラス粒子と基板を構成するシリコン粒子とが混合して形成された約20nmの厚さの混合層105が形成された。

【0057】次いで、基板100の裏面100B側にレジストからなる保護層106をスピコートにより厚さ約1μmに形成した。次いで、図36に示すように、80℃に加熱した水酸化カリウム（濃度約40重量%）に2時間浸漬させることによってウェットエッチングを行い、ネガパターン102を除去した。さらに、薄膜104及び混合層105をパターンニング（リフトオフ）するとともに、基板104を異方性エッチングすることによってエッチピット107を形成した。その後、基板100の全体をメチルエチルケトンに5分間浸漬させることによって保護層106を除去した。

【0058】次いで、図37に示すように、図5と同様

に薄膜 104 上に熱電対 17 及びチタン箔（厚さ 50 μ m）のカバー 18 を設置し、このアセンブリを真空容器 19 中に入れた。そして、赤外線ヒータ 21 によって加熱速度 10 $^{\circ}\text{C}/\text{分}$ で 660 $^{\circ}\text{C}$ まで薄膜 104 を加熱した。すると、混合層 105 及び薄膜 104 の熱膨脹係数の差から両者の界面に応力が生じる。この場合、混合層 105 の熱膨脹係数が薄膜 104 の熱膨脹係数よりも小さいので、薄膜 104 には混合層 105 から圧縮応力が作用する。したがって、薄膜 104 は下方に向かって変形した。

【0059】図 38 は、薄膜 104 のたわみ量を加熱前後で測定した結果を示すものである。図 38 から明らかなように、加熱前において薄膜 104 はほとんど変化していないが、加熱後においてはバイモルフ効果によって大きくたわんでいることが分かる。すなわち、本実施例の方法によって片持ち梁構造の薄膜構造体を形成できることが確認された。

【0060】以上、具体例を挙げながら、本発明の発明の実施に形態に則して説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいて、あらゆる変形や変更可能である。

【0061】

【発明の効果】本発明の薄膜構造体は、過冷却液体域を有する非晶質材料から薄膜構造体を構成し、このような非晶質材料の過冷却液体域前後による特異な物性を利用して薄膜構造体を形成するようにしている。このため、高い生産性と高い再現性とを有し、成形後の形状安定性に優れた薄膜構造体を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の薄膜構造体の製造方法の一例において、最初の工程を示す平面図である。

【図 2】 図 1 に示す平面図の I—I 線における断面図である。

【図 3】 図 1 及び 2 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 4】 図 3 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 5】 図 4 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 6】 本発明の薄膜構造体に用いた金属ガラスの示差走査熱量計（DSC）曲線のグラフである。

【図 7】 本発明の薄膜構造体を構成する薄膜を、過冷却液体域に加熱する以前の状態を示す走査型電子顕微鏡写真である。

【図 8】 本発明の薄膜構造体を構成する薄膜を、過冷却液体域に加熱して薄膜構造体を作製した後の状態を示す走査型電子顕微鏡写真である。

【図 9】 パドル部に代えてハンダバンプを形成した場合を示す工程図である。

【図 10】 パドル部に代えて厚肉部を形成した場合を

示す工程図である。

【図 11】 本発明の薄膜構造体の製造方法の他の例において、最初の工程を示す平面図である。

【図 12】 図 11 に示す行程の後の工程を示す平面図である。

【図 13】 図 12 に示す平面図の II—II 線における断面図である。

【図 14】 図 13 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

10 【図 15】 図 14 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 16】 本発明の薄膜構造体の製造方法のさらに他の例において、最初の工程を示す平面図である。

【図 17】 図 16 に示す行程の後の工程を示す平面図である。

【図 18】 図 17 に示す平面図の III—III 線における断面図である。

【図 19】 図 18 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

20 【図 20】 図 19 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 21】 本発明の薄膜構造体の製造方法のその他の例において、最初の工程を示す平面図である。

【図 22】 図 21 に示す平面図の IV—IV 線における断面図である。

【図 23】 図 21 及び 22 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 24】 図 23 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

30 【図 25】 図 24 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 26】 図 25 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 27】 本発明の薄膜構造体の製造方法の一例において、最初の工程を示す平面図である。

【図 28】 図 27 に示す平面図の V—V 線における断面図である。

【図 29】 図 27 及び 28 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

40 【図 30】 図 29 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 31】 図 30 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 32】 図 31 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 33】 本発明の薄膜構造体の製造方法の他の例において、最初の工程を示す平面図である。

【図 34】 図 33 に示す平面図の VI—VI 線における断面図である。

50 【図 35】 図 33 及び 34 に示す工程の後の工程を示

す断面図である。

【図 36】 図 35 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 37】 図 36 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

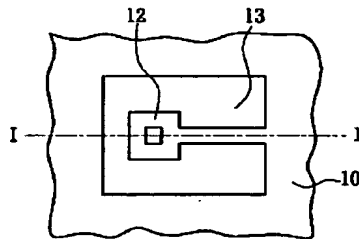
【図 38】 本発明の薄膜構造体を構成する薄膜の、過冷却液体域に加熱する前後におけるたわみ量を示す図である。

【符号の説明】

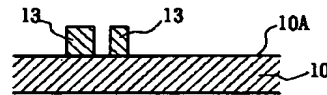
10、40、50、70、90、100 基板
12 パドル部
13、72、92、102 ネガパターン
14、42、52、73、93 薄膜
15、75、94、106 保護層
16、54、77、107 エッチピット
17 熱電対
18 カバー
19 真空容器
20 石英ガラス窓
21 赤外線ヒータ
22 温度調節器
30 ハンダバンプ

31 厚肉部
41 犠牲層
43 マスク
44 貫通孔
46 治具
47、62、78、97 加熱装置
48、63、82、99 薄膜構造体
51 クロム薄膜
56 石英ガラス窓
57 クロム電極
58 絶縁層
59 成形用電極
60 ガラスビーズ
61 外部電源
74 磁性層
79 シャフト
80 永久磁石
81 冷却管
95 片持ち梁構造の薄膜
96 基板の基部
98 クロム層
105 混合層

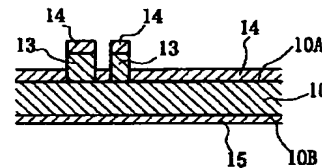
【図 1】



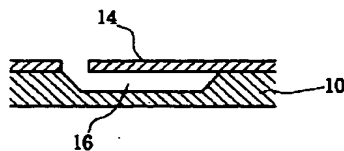
【図 2】



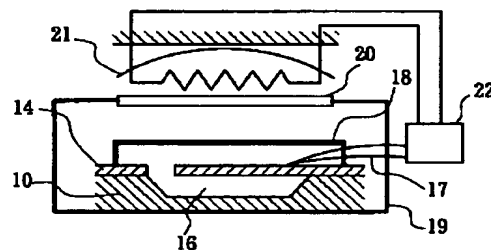
【図 3】



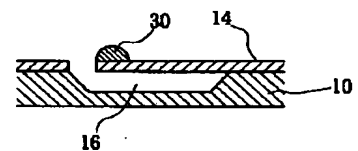
【図 4】



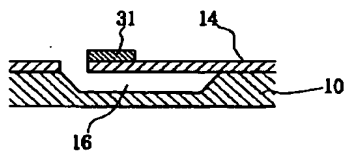
【図 5】



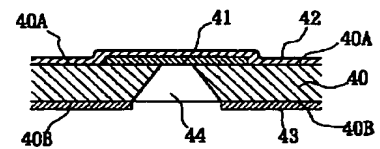
【図 9】



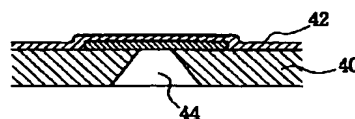
【図 10】



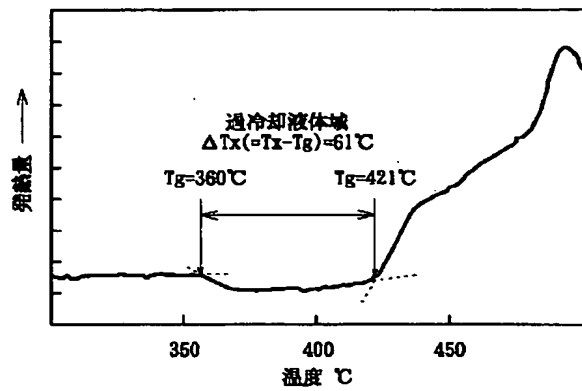
【図 11】



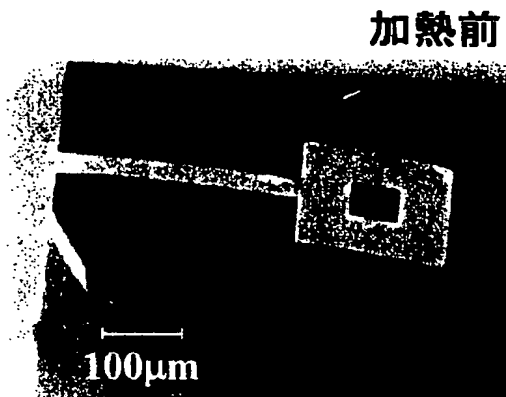
【図 13】



【図6】



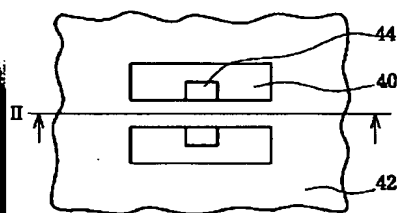
【図7】



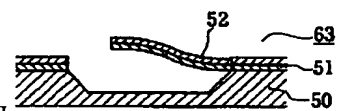
【図8】



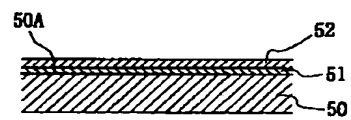
【図12】



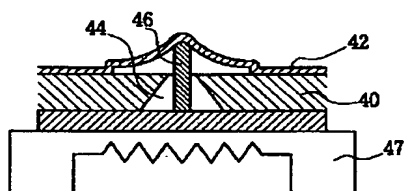
【図20】



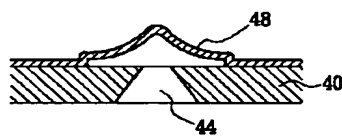
【図16】



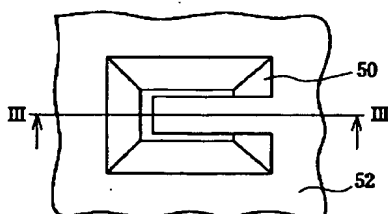
【図14】



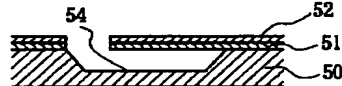
【図15】



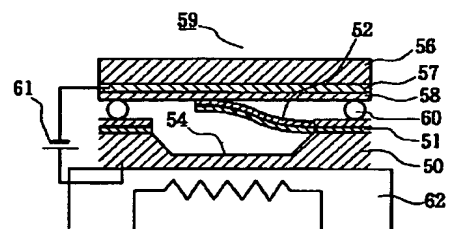
【図17】



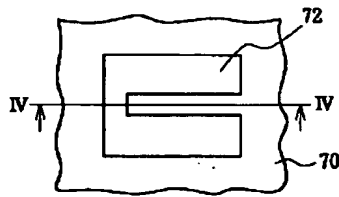
【図18】



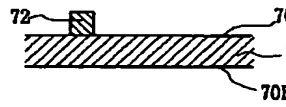
【図19】



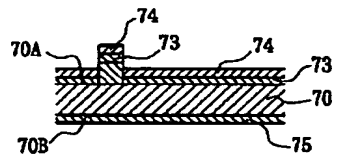
【図 21】



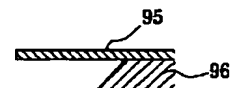
【図 22】



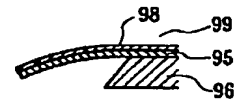
【図 23】



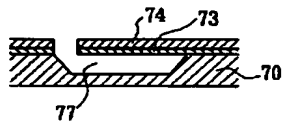
【図 30】



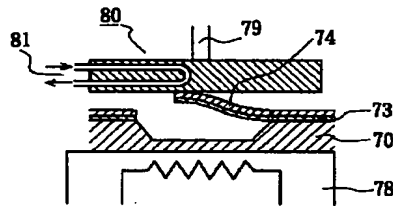
【図 32】



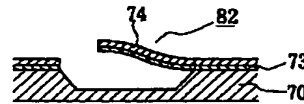
【図 24】



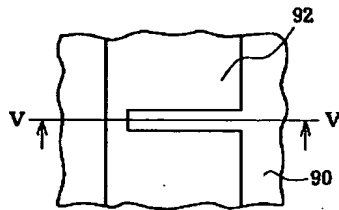
【図 25】



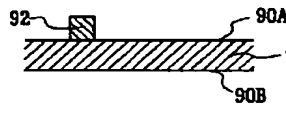
【図 26】



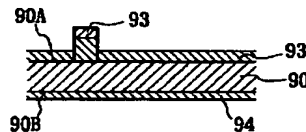
【図 27】



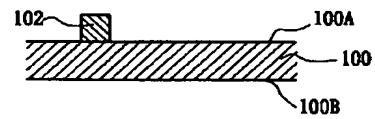
【図 28】



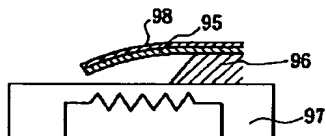
【図 29】



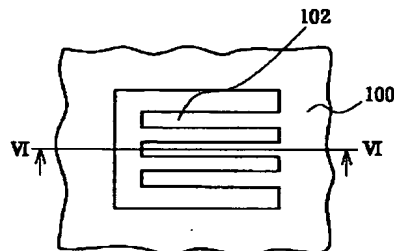
【図 34】



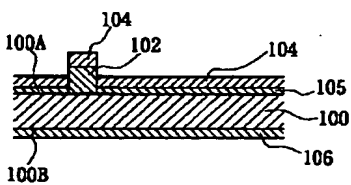
【図 31】



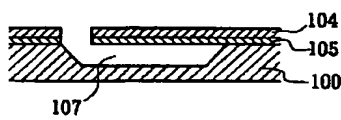
【図 33】



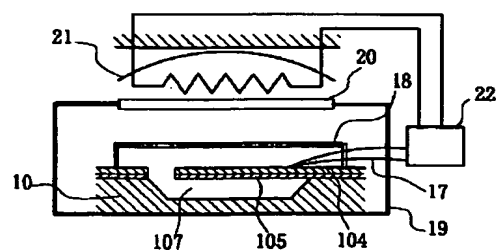
【図 35】



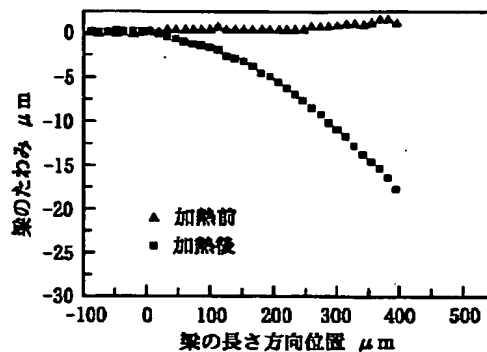
【図 36】



【図 37】



【図 38】



【手続補正書】

【提出日】平成12年6月13日（2000. 6. 13）

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】薄膜構造体の製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に形成する工程と、前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱し、前記薄膜に対して微細針状部材による機械的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて薄膜構造体を形成する工程と、前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、薄膜構造体の製造方法。

【請求項2】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に形成する工程と、前記薄膜に隣接させて導電性材料からなる電極層を形成する工程と、前記電極層に対向させて対向電極を設ける工程と、前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱するとともに、前記電極層と前記対向電極との間に電圧を印加し、前記薄膜に対して前記電極層と前記対向電極との間に生じた静電的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて薄膜構造体を形成する工程と、前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、薄膜構造体の製造方法。

【請求項3】 過冷却液体域を有する非晶質材料からな

る薄膜を所定の基板上に形成する工程と、前記薄膜に隣接させて磁性材料からなる磁性層を形成する工程と、前記磁性層に対向させて対向磁石を設ける工程と、前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱し、前記薄膜に対して前記磁性層と前記対向磁石との間に生じた磁気的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて薄膜構造体を形成する工程と、前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、薄膜構造体の製造方法。

【請求項4】 前記磁性層は、Ni、Fe、Co及びMnから選ばれる少なくとも1種の磁性材料からなることを特徴とする、請求項3に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項5】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に形成する工程と、前記薄膜に隣接させて内部応力を有する補助層を形成する工程と、前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱し、前記薄膜と前記補助層との間の界面に生じた応力により、前記薄膜を湾曲させて薄膜構造体を形成する工程と、前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、薄膜構造体の製造方法。

【請求項6】 前記補助層は、前記基板を構成する材料と前記薄膜を構成する材料とが混合してなる混合層であることを特徴とする、請求項5に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項7】 前記補助層の厚さが、前記薄膜の厚さの1/100以下であることを特徴とする、請求項5又は6に記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項8】 前記薄膜は、 $\text{Zr}_{66}\text{Cu}_{33}\text{Al}$ 、 Pd_{76}

Cu₆Si₁₈及び酸化ボロンの少なくとも一種からなることを特徴とする、請求項1～7のいずれかに記載の薄膜構造体の製造方法。

【請求項9】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に厚さ1～20μmに形成する工程と、
前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱し、前記薄膜に対して微細針状部材による機械的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて厚さ1～20μmの薄膜構造体を形成する工程と、
前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、センサ用薄膜構造体の製造方法。

【請求項10】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に厚さ1～20μmに形成する工程と、
前記薄膜に隣接させて導電性材料からなる電極層を形成する工程と、
前記電極層に対向させて対向電極を設ける工程と、
前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱するとともに、前記対向電極に電圧を印加し、前記薄膜に対して前記電極層と前記対向電極との間に生じた静電的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて厚さ1～20μmの薄膜構造体を形成する工程と、
前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、センサ用薄膜構造体の製造方法。

【請求項11】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に厚さ1～20μmに形成する工程と、
前記薄膜に隣接させて磁性材料からなる磁性層を形成する工程と、
前記磁性層に対向させて対向磁石を設ける工程と、
前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱し、前記薄膜に対して前記磁性層と前記対向磁石との間に生じた磁気的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて厚さ1～20μmの薄膜構造体を形成する工程と、
前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、センサ用薄膜構造体の製造方法。

【請求項12】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に厚さ1～20μmに形成する工程と、
前記薄膜に隣接させて内部応力を有する補助層を形成する工程と、
前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱し、前記薄膜と前記補助層との間の内部応力差によって生じた応力により、前記薄膜を湾曲させて厚さ1～20μmの薄膜構造体を形成する工程と、
前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却さ

せる工程とを含むことを特徴とする、センサ用薄膜構造体の製造方法。

【請求項13】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に厚さ1～20μmに形成する工程と、
前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱し、前記薄膜に対して微細針状部材による機械的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて厚さ1～20μmの薄膜構造体を形成する工程と、
前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、プローブ用薄膜構造体の製造方法。

【請求項14】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に厚さ1～20μmに形成する工程と、
前記薄膜に隣接させて導電性材料からなる電極層を形成する工程と、
前記電極層に対向させて対向電極を設ける工程と、
前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱するとともに、前記対向電極に電圧を印加し、前記薄膜に対して前記電極層と前記対向電極との間に生じた静電的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて厚さ1～20μmの薄膜構造体を形成する工程と、
前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、プローブ用薄膜構造体の製造方法。

【請求項15】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に厚さ1～20μmに形成する工程と、
前記薄膜に隣接させて磁性材料からなる磁性層を形成する工程と、
前記磁性層に対向させて対向磁石を設ける工程と、
前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱して、前記薄膜に対して前記磁性層と前記対向磁石との間に生じた磁気的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて厚さ1～20μmの薄膜構造体を形成する工程と、
前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、プローブ用薄膜構造体の製造方法。

【請求項16】 過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に厚さ1～20μmに形成する工程と、
前記薄膜に隣接させて内部応力を有する補助層を形成する工程と、
前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱して、前記薄膜と前記補助層との間の内部応力差によって生じた応力により、前記薄膜を湾曲させて厚さ1～20μmの薄膜構造体を形成する工程と、
前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、プローブ用薄膜構

造体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、薄膜構造体の製造方法に関し、さらに詳しくはマイクロアクチュエータなどのマイクロマシン、探針、触針、マイクロセンサなどの各種センサ、及び走査型プローブ顕微鏡用プローブなどの各種プローブの構造部品などとして好適に使用することのできる、薄膜構造体の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】マイクロマシン、各種センサ、各種プローブなどは、基板面外へ作用する力の発生や、逆に基板外の各種近接効果や流体の流動、他の電子回路の電圧などを検出する必要がある。このため、半導体製造に用いられる薄膜成膜技術及び微細加工技術を応用したマイクロマシーニングにより、様々な薄膜からなる梁などの平面構造体を立体的に湾曲・変形させた薄膜構造体がいられるようになってきている。

【0003】従来、立体的な薄膜構造体を製造する方法としては、以下の方法が用いられてきた。

- 1) 異なった熱膨張係数を有する2種類以上の層からなる平面構造体を作製し、バイモルフ効果により、立体的な薄膜構造体を製造する方法。
- 2) ポリシリコンからなる平面構造体をマイクロプローブで保持し、通電加熱により加熱・湾曲させ立体的な薄膜構造体を製造する方法。
- 3) スパッタリング法などによって薄膜を形成し、成膜時の残留応力を利用して、立体的な薄膜構造体を製造する方法。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかし、バイモルフ効果を利用した方法では、薄膜構造体を製造した後においても熱膨張係数の違う層が存在するため、常温付近でのバイモルフ効果によって使用時の温度変化に起因して薄膜構造体を経時的に変化してしまうという問題がある。

【0005】また、ポリシリコンを加熱・湾曲させる方法では、材料がポリシリコンに限定され、所望の強度、弾性限界などの特性を構造に付与することが難しい。さらに作製した個々の平面構造体をマイクロプローブで保持しなければならず、生産性に乏しいという問題がある。さらに、成膜時の残留応力を利用する方法では、再現性に乏しく、残留応力の経時変化により薄膜構造体の形状が変化するという問題点があった。

【0006】本発明は、高い生産性と高い再現性とを有し、成形後の形状安定性に優れた薄膜構造体の製造方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に形成する工程と、前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱し、

前記薄膜に対して微細針状部材による機械的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて薄膜構造体を形成する工程と、前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、薄膜構造体の製造方法である。

【0008】また、本発明は、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に形成する工程と、前記薄膜に隣接させて導電性材料からなる電極層を形成する工程と、前記電極層に対向させて対向電極を設ける工程と、前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱するとともに、前記対向電極に電圧を印加し、前記薄膜に対して前記電極層と前記対向電極との間に生じた静電的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて薄膜構造体を形成する工程と、前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、薄膜構造体の製造方法である。

【0009】さらに、本発明は、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に形成する工程と、前記薄膜に隣接させて磁性材料からなる磁性層を形成する工程と、前記磁性層に対向させて対向磁石を設ける工程と、前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱して、前記薄膜に対して前記磁性層と前記対向磁石との間に生じた磁気的な外力を負荷することにより、前記薄膜を湾曲させて薄膜構造体を形成する工程と、前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、薄膜構造体の製造方法である。

【0010】また、本発明は、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を所定の基板上に形成する工程と、前記薄膜に隣接させて内部応力を有する補助層を形成する工程と、前記薄膜を前記過冷却液体域まで加熱して、前記薄膜と前記補助層との間の内部応力差によって生じた応力により、前記薄膜を湾曲させて薄膜構造体を形成する工程と、前記薄膜構造体を前記過冷却液体域から室温まで冷却させる工程とを含むことを特徴とする、薄膜構造体の製造方法である。

【0011】本発明者らは、上記問題点を解決すべく、新たな薄膜構造体の製造方法を開発すべく研究を重ねた。その結果、薄膜構造体を過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜から構成するとともに、この薄膜を前記過冷却液体域にまで加熱し、前記薄膜の温度が前記過冷却液体域にあるときに、前記薄膜を上記のような機械的手段、静電的手段、又は磁気的手段によって、湾曲させることによって上記問題を解決できることを見出した。

【0012】すなわち、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を前記過冷却液体域まで加熱すると、前記薄膜はガラス転位現象を生じる。すると、それまで固体状で高い剛性を有していた薄膜は半固体状（過冷却液体）となり、粘度が $10^8 \sim 10^{13} \text{ Pa} \cdot \text{S}$ の粘性流動を示すようになる。そして、前記薄膜は極めて軟性を示

すため、上記のような手段による外部的な力を印加することにより、所望するあらゆる形状に湾曲させることができる。

【0013】そして、前記薄膜が前記過冷却液体域よりも低い温度に冷却されると、再び前記薄膜は固体状となって高い剛性を示すようになる。したがって、前記過冷却液体域において所望する形状に作製された前記薄膜は、その形状を維持したまま高い剛性を有する固体状物となる。本発明は、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜の上記のような特性を見出すとともにこの特性に着目し、この特性を利用することによってなされたものである。

【0014】本発明の薄膜構造体の製造方法によれば、非晶質材料からなる薄膜が過冷却液体域に加熱されたときのみ、前記薄膜が粘性流動を示すため簡単に前記薄膜の形状を変化させることができる。そして、室温近傍の通常の使用状態においては前記薄膜の剛性が極めて高くなるため、前記薄膜の形状をほとんど変化させることができなくなる。したがって、高い生産性と高い再現性とを有し、成形後の形態安定性に優れた薄膜構造体を提供することが可能となる。

【0015】なお、本発明における「過冷却液体域」とは、ガラス転移温度 (T_g) から結晶化開始温度 (T_x) までの温度領域 (ΔT_x) をいう。

【0016】

【発明の実施の形態】以下、本発明を発明の実施の形態に則して詳細に説明する。本発明の薄膜構造体は、過冷却液体域を有する非晶質材料の薄膜から構成されることが必要である。非晶質材料の種類としては、酸化物ガラス (SiO_2 、パイレックスガラス等)、カルコゲナイド半導体 ($As-S$ 、 $Si-As-Te$ 等)、及び一部の非晶質合金 ($Zr-Cu-Al$ や $Pd-Cu-Si$ など)の金属ガラスを例示することができる。

【0017】そして、過冷却液体域のガラス転移温度が $200 \sim 600^\circ C$ の温度範囲にある非晶質材料を使用することが好ましく、さらには $250 \sim 400^\circ C$ の温度範囲にある非晶質材料を使用することが好ましい。非晶質材料がこのような比較的低いガラス転移温度を有することによって、薄膜の加熱行程が簡素化される。

【0018】また、非晶質材料を成膜する基板や、基板を保持する治具などの材料選択の幅が広がる。ガラス転移温度周辺の非晶質材料は、一般的に $10^{13} \sim 10^{11} Pa \cdot S$ の粘度を有するので、薄膜の粘度が低下しすぎて短時間に大きく湾曲することにより、薄膜自体が過剰に変形したり、破壊したりすることを防止できる。また、このような非晶質材料からなる薄膜は室温近傍において極めて高い剛性を有する。したがって、過冷却液体域で薄膜を湾曲させることによって得た形状が、室温近傍における使用過程においてほとんど変化しなくなる。したがって、極めて形状安定性に優れた薄膜構造体の提供が

可能となる。

【0019】さらに、過冷却液体域の温度幅は $20^\circ C$ 以上であることが望ましい。このように比較的広い過冷却液体域を有することによって、薄膜の加熱工程が簡易化される。また、このように比較的広い過冷却液体域を有することによって、加熱時の温度変動による影響を低減することができる。このような非晶質材料としては、 $Zr_{66}Cu_{33}Al$ 、 $Pd_{76}Cu_6Si_{18}$ 及び酸化ボロンなどを例示することができる。

【0020】本発明の薄膜構造体は、前記のような非晶質材料からなる薄膜を過冷却液体域まで加熱して製造することが必要である。薄膜を加熱する手段としては、赤外線加熱、誘導加熱、抵抗加熱などの公知の加熱手段を用いることができる。

【0021】さらに、本発明の薄膜構造体は、前記薄膜を過冷却液体域に加熱した後、前記薄膜がこの温度状態にあるときに前記薄膜を湾曲させることが必要である。薄膜を湾曲させる手段としては、本発明にしたがって、薄膜に対して機械的な外力、静電的な外力、磁気的な外力を加えて行う他、バイモルフ効果を利用する方法などがある。以下、それぞれについて説明する。

【0022】(機械的な外力によって湾曲させる方法) この場合においては、薄膜を過冷却液体域まで加熱する前に前記薄膜にマイクロマニピュレータなどに取り付けられた微細針などにより外力を与えて湾曲させ、過冷却液体域の加熱行程中、この外力を保持する。そして、この状態で前記薄膜を過冷却液体域まで加熱すると、薄膜が軟化して外力による変形の応力を緩和するため永久ひずみを生じるようになる。そして、この永久ひずみを持って薄膜の変形量とするものである。なお、薄膜の湾曲は、過冷却液体域に加熱した後に微細針などにより外力を与え、前記薄膜を加熱保持している最中に直接的に行うこともできる。

【0023】(静電的な外力によって湾曲させる方法) スパッタなど公知の成膜方法により、金などの導電性材料からなる電極層を前記薄膜と隣接するように形成する。そして、前記電極層と対向するようにして対向電極を設ける。そして、前記電極層と前記対向電極とを外部電源を接続して電圧を印加し、この間に静電力を発生させ、過冷却液体域にある前記薄膜を湾曲させる。薄膜の変形量は、前記薄膜と前記対向電極とのギャップ、印加する電圧、および加熱温度と加熱時間により制御できる。なお、電圧印加による静電力の発生は、前記薄膜の加熱前後のいずれでもよい。

【0024】(磁気的な外力によって湾曲させる方法) 磁気的な外力によって薄膜を湾曲させる場合は、前記薄膜と隣接させて磁性層を形成する。そして、前記磁性層と対向させて永久磁石又は電磁石などの対向磁石を設置する。そして、前記磁性層と前記対向電極との間に発生する磁力による吸引あるいは反発によって、過冷却液体

域にある前記薄膜を湾曲させる。

【0025】このように磁気的な外力によって薄膜を湾曲させる場合、前記磁性層を構成する磁性材料のキュリー点が、過冷却液体域を有する前記薄膜のガラス転位温度よりも高いことが必要である。これによって、前記薄膜を過冷却液体域に加熱した場合においても、前記磁性層は磁性を維持することが可能であるため、本方法によって前記薄膜を湾曲させることができる。薄膜の変形量は前記薄膜などと磁石とのギャップ、磁束密度、及び加熱温度、加熱時間により制御することができる。

【0026】また、本方法による場合、前記磁性層を構成する磁性材料のキュリー点が210～1200℃であることが好ましく、さらには350～1150℃であることが好ましい。これによって、前記薄膜を過冷却液体域まで加熱した場合においても前記薄膜などが十分に大きい磁化を有するため、前記ギャップや前記磁束密度などで決定される磁気的な外力のみによって、前記薄膜を所望の形状に簡易に形成することができる。このような磁性材料としてはFe、Ni、Co及びNi₃Feを好ましくは用いることができる。

【0027】（バイモルフ効果によって湾曲させる方法）バイモルフ効果によって薄膜を湾曲させるためには、前記薄膜と内部応力の異なる補助層を前記薄膜と隣接させて形成する。そして、前記薄膜を過冷却液体域に加熱した際に、前記薄膜と前記補助層との内部応力差に起因し、両者の界面に発生した応力によって前記薄膜を湾曲させる。具体的には、スパッタ時の雰囲気圧などの成膜条件を操作することによって内部応力を発生させた補助層を直接形成したり、基板を構成する材料と前記薄膜を構成する材料との混合層から補助層を構成したりすることができる。

【0028】内部応力を有する補助層としては、内部応力の絶対値が1MPa～3GPa、さらに好ましくは10MPa～100MPaである材料、具体的には直流スパッタ法によりスパッタ時のアルゴン雰囲気圧力0.3Pa、スパッタ電圧500Vで成膜されたCr層などを用いることができる。

【0029】また、この場合において補助層の厚さを大きくし過ぎると「従来の技術」で述べたように、常温付近のバイモルフ効果によって薄膜構造体の形状が経時的に変化してしまう場合がある。したがって、前記補助層の厚さは薄い方が好ましい。具体的な厚さは前記薄膜と前記補助層とのヤング率によって決定されるが、両者のヤング率が同じ程度の場合、前記補助層の厚さは前記薄膜の厚さの1/100以下が好ましく、さらには10～200nmの範囲にあることが好ましい。

【0030】また、基板と過冷却液体域を有する非晶質材料からなる混合層で前記補助層を構成する場合は、スパッタリングによって前記薄膜を形成する過程において、例えばスパッタ時の雰囲気圧力及びスパッタ出力な

どのスパッタリング条件を制御することによって、前記基板が逆スパッタされるようにする。すると、前記薄膜中に基板構成粒子が混入し、前記のような混合層を形成することができる。

【0031】この場合においても混合層の厚さが前記薄膜の厚さに比べて大きくなり過ぎると、常温付近でのバイモルフ効果によって、薄膜構造体の形状が経時的に変化する場合がある。したがって、補助層を混合層によって構成する場合においても、前記同様の厚さによる制限を課すことが好ましい。

【0032】本方法によって薄膜を湾曲させる場合、薄膜の変形量は、前記薄膜及び前記補助層のヤング率及び厚さにおける差と、加熱温度及び加熱時間とに依存する。

【0033】上記のようにして薄膜を湾曲させ、薄膜構造体を形成した後は、熱放射などによる自然冷却、冷却用ガス導入による冷却、冷却盤との接触による冷却などの冷却手段を用いて室温まで冷却する。また、磁気的な外力によって湾曲させる場合は、水冷した電磁石などに接触させることによって行うことができる。また、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を基板上に形成する手段としては、スパッタリング、蒸着法などの物理蒸着法や、CVD法などの化学蒸着法などによって形成することができる。

【0034】本発明の薄膜構造体を構成する前記薄膜の厚さは特に限定されず、用途に応じてあらゆる厚さに形成することができる。しかしながら、各種センサや各種プローブなどに使用する場合は、一般に1～20μmの厚さに形成する。また、前記薄膜は用途に応じてウェットエッチング法、ドライエッチング法、及びリフトオフ法などによって、予め所望の平面構造体に形成しておくこともできる。

【0035】

【実施例】以下、本発明を実施例に基づいて詳細に説明する。

実施例1

本実施例においては、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、機械的な外力によって湾曲させた。図1～5は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図1は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図2～5は、それぞれ図1に続く工程を経時的に示す断面図である。また、図3は、図2に示す平面図のII-II線における断面図を示したものである。基板40には、厚さ200μm、結晶方位100面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0036】図1に示すように、基板40の主面40A上にスピコート法によりレジストを厚さ1μmで塗布し、露光装置により長方形の犠牲層41をパターンニングして形成した。次いで、基板40の主面40A上におい

て、犠牲層 41 の全体を覆うようにして酸化ボロン (B_2O_3) からなる薄膜 42 を、CVD 法によって厚さ約 $2\mu m$ に形成した。次いで、基板 40 の裏面 40B に、レジストを同じくスピンコート法により厚さ $0.5\mu m$ に塗布した後、パターンニングしてマスク 43 を形成した。

【0037】次いで、このマスク 43 を利用することによって、基板 40 を $80^\circ C$ の水酸化カリウム (KOH) 水溶液 (濃度 40 重量%) に 1.6 時間浸漬してエッチングを行い、犠牲層 41 まで達する貫通穴 44 を形成した。次いで、図 2 及び 3 に示すように、図示しないレジストからなる保護膜を薄膜 42 上に形成した後、フッ酸緩衝液に浸漬してエッチングを行い、薄膜 42 を両持ち梁形状に形成した。その後、犠牲層 41 及びマスク 43 をメチルエチルケトンで剥離・除去した。

【0038】次いで、図 4 に示すように、SUS304 製の治具 46 を貫通穴 44 より薄膜 42 に押し当てた状態で、ヒータと温度制御器からなる加熱装置 47 に載置した。次いで、 $560^\circ C$ まで加熱速度 $10^\circ C/分$ で加熱し、この温度で 2 分間保持した。なお、薄膜 42 を構成する酸化ボロンのガラス転移温度 T_g は $553^\circ C$ であった。その後、ヒータ加熱によって自然冷却を制御することにより、 $10^\circ C/分$ の冷却速度で薄膜 42 を室温まで冷却し、加熱装置 47 と治具 46 を取り外した。すると、図 5 に示すような立体的な薄膜構造体 48 が得られた。

【0039】実施例 2

本実施例においては、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、静電的な外力によって湾曲させた。図 6～10 は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図 6 は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図 7～10 は、それぞれ図 6 に続く工程を経時的に示す断面図である。また、図 8 は、図 7 に示す平面図の III-III 線における断面図を示したものである。基板 50 には厚さ $250\mu m$ 、結晶方位 100 面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0040】最初に、図 6 に示すように、基板 50 の主面 50A 上にクロム薄膜 51 をスパッタリング法により厚さ $50nm$ に形成した。次いで、クロム薄膜 51 上に酸化ボロンからなる薄膜 52 を CVD 法により厚さ約 $2\mu m$ に形成した。次いで、図 7 及び 8 に示すように、薄膜 52 上に図示しないレジストからなる保護膜を形成した後、フッ酸緩衝液に浸漬してエッチングを行い、薄膜 52 及びクロム薄膜 51 をパターンニングした。次いで、基板 50 の裏面 50B に図示しないレジストからなる保護膜を形成した後、基板 50 を $80^\circ C$ の水酸化カリウム水溶液 (濃度 40 重量%) に 2 時間浸漬させてエッチングを行い、エッチピット 54 を形成した。

【0041】次いで、図 9 に示すように、薄膜 52 の上

方に直径 $50\mu m$ のガラスビーズ 60 を介して成形用電極 59 を設置した。成形用電極 59 は、酸化シリコンからなる絶縁層 58 と、クロム電極 57 と、石英ガラス 56 とが積層されて構成されている。次いで、基板 50 と成形用電極 59 とを外部電源 61 に接続し、両者に一定の電圧 V を印加することによって、クロム薄膜 51 と成形用電極 59 との間に静電力を発生させ、これによって薄膜 52 を成形用電極 59 に吸着させた。

【0042】次いで、基板 50 の裏面 50B 側に加熱装置 62 を設ける。そして、基板 50 を加熱速度 $10^\circ C/分$ で $560^\circ C$ まで加熱し、2 分間保持した。なお、酸化ボロンのガラス転移温度 T_g は $553^\circ C$ であった。その後、加熱装置により自然冷却を制御することによって冷却速度 $10^\circ C/分$ で室温まで冷却した。その結果、図 10 に示すような薄膜構造体 63 が得られた。

【0043】本実施例では、基板 50 と成形用電極 59 との間に高電圧を印加し、これらの間に大きな静電力を発生させている。したがって、薄膜 52 を過冷却液体域に加熱する以前において、薄膜 52 が成形用電極 59 に吸着している。しかしながら、基板 50 と成形用電極 59 との間に比較的低い電圧を印加した場合においても、薄膜 52 を過冷却液体域に加熱することにより薄膜 52 が粘性流動を示すため、薄膜 52 が成形用電極 59 に吸着して薄膜構造体 63 を形成することができる。

【0044】実施例 3

本実施例では、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、磁気的な外力によって湾曲させた。図 11～16 は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図 11 は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図 12 は、図 11 に示す平面図の IV-IV 線における断面図を示したものである。そして、図 13～16 は、それぞれ図 11 及び 12 に続く工程を経時的に示す断面図である。基板 70 には厚さ $250\mu m$ 、結晶方位 100 面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0045】最初に、図 11 及び 12 に示すように、基板 70 の主面 70A 上にスピンコート法によってポリイミド膜を厚さ $5\mu m$ に形成した後、RIE によって片持ち梁形状のネガパターン 72 を形成した。次いで、図 13 に示すように、スパッタリング法により、基板 70 の主面 70A 上に $Pd_{61}Pt_{15}Cu_6Si_{18}$ の金属ガラスからなる薄膜 73 を、ネガパターン 72 を覆うようにして厚さ $2\mu m$ に形成した。次いで、薄膜 73 上に強磁性体である Co からなる磁性層 74 を厚さ $0.5\mu m$ となるように、スパッタリング法によって形成した。さらに、基板 70 の裏面 70B 上にレジストからなる保護層 75 を、スピンコートにより厚さ約 $1\mu m$ に形成した。

【0046】次いで、図 14 に示すように、 $80^\circ C$ に加熱した水酸化カリウム (濃度 40 重量%) に基板 70 を

2時間浸漬させることによってウェットエッチングを行い、ネガパターン72を除去することによって、薄膜73と磁性層74とをパターンニング(リフトオフ)した。そして、基板70を異方性エッチングすることによって、エッチピット77を形成した。その後、保護層75をメチルエチルケトンに5分間浸漬させることによってエッチング除去した。次いで、図15に示すように基板70の裏面70B側に加熱装置78を設け、この加熱装置78によって、薄膜73を加熱速度10℃/分で425℃まで加熱した。なお、Pd₆₁Pt₁₅Cu₆Si₁₈のガラス転位温度T_gは357℃であった。

【0047】そして、薄膜73の温度が425℃になったところで、図示しない直動機構によって駆動されるシャフト79に接続された永久磁石80を磁性層74に接近させた。この場合において、基板70と永久磁石80とのギャップは、前記直動機構に具備された変位センサのデータより決定される。また、永久磁石80の極性は、薄膜73と対向する側をN極とし、反対側をS極とした。さらに永久磁石80を熱より保護する目的で、冷却管81を永久磁石80内に設けた。なお、Coのキュリー点は1131℃であるので、前記のように425℃まで加熱した場合においても、その強磁性を失うことがない。

【0048】上記温度に薄膜73を加熱することによって、薄膜73は過冷却液体域にあって軟化しているため、磁性層74が永久磁石80に吸引されるのにしたがって湾曲する。薄膜73の変形が進んで磁性層74が永久磁石80に吸着すると、薄膜73は冷却され、ガラス転移温度357℃以下になった時点で変形が固定される。これによって図16に示すような薄膜構造体82を得ることができた。なお、磁性層74は薄膜構造体82を得た後に、必要に応じ塩酸などでエッチング除去することもできる。

【0049】実施例4

本実施例では、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、バイモルフ効果によって湾曲させた。図17～22は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図17は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図18は、図17に示す平面図のV-V線における断面図を示したものである。そして、図19～22は、それぞれ図17及び18に続く工程を経時的に示す断面図である。基板90には厚さ200μm、結晶方位100面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0050】最初に、図17及び18に示すように、基板90の主面90A上にポリイミド膜をスピンコート法によって厚さ5μmに形成した後、RIEによって片持ち梁形状のネガパターン92を形成した。次いで、図19に示すようにPd₆₁Pt₁₅Cu₆Si₁₈の金属ガラスからなる薄膜93をスパッタリング法により、厚

さ2μmに形成した。さらに、基板90の裏面90Bにレジストからなる保護層94を、スピンコートにより厚さ約1μmに形成した。

【0051】次いで、図20に示すように、80℃に加熱した水酸化カリウム(濃度40重量%)に3時間浸漬することによりウェットエッチングを行い、ネガパターン92を除去することにより薄膜93をパターンニング(リフトオフ)して、片持ち梁形状の薄膜95を形成した。さらに、基板90を異方性エッチングすることによって、基板90の基部96のみが残るようにした。その後、保護層94をメチルエチルケトンに5分間浸漬させることによって除去した。

【0052】次いで、図21に示すように、このアセンブリを加熱装置97を有する図示しないスパッタリング装置内に入れた。その後、スパッタリング装置内を10⁻³Paまで真空排気した後に、アルゴンガスを圧力が0.4Paとなるように導入した。そして、加熱速度10℃/分で425℃まで加熱するとともに、加熱温度が355℃を超えた時点で、スパッタリングによってクロム層98を片持ち梁形状の薄膜95上に、厚さ約0.1μmに形成した。なお、Pd₆₁Pt₁₅Cu₆Si₁₈のガラス転位温度T_gは上記したように357℃であった。

【0053】薄膜95の温度が357℃を超えた時点において、クロム層98内部に発生した圧縮応力により、薄膜95とクロム層98との界面には薄膜95を下方へ引っ張る力が作用する。その結果、薄膜95は下方へ垂れ下がった形状を呈するようになった。

【0054】そして、クロム層98の形成が完了するとともに加熱を終了し、加熱装置により放射冷却を制御することによって、10℃/分の冷却速度で室温まで冷却した。薄膜95の温度が薄膜95を構成する金属ガラスの過冷却液体域より低くなると、薄膜95の変形は終了する。したがって、最終的に図22に示すような薄膜構造体99を得た。薄膜構造体99を得た後、クロム層98は必要に応じて塩酸でエッチング除去することもできる。

【0055】実施例6

本実施例では、過冷却液体域を有する非晶質材料からなる薄膜を、バイモルフ効果によって湾曲させた。但し、実施例5と異なり、基板と前記薄膜を構成する非晶質材料とからなる混合層を形成し、この混合層と前記薄膜とのバイモルフ効果を利用した。

【0056】図23～27は、本実施例による薄膜構造体の製造工程を示す工程図である。図23は、本発明の薄膜構造体の製造方法における最初の工程を示す平面図であり、図24は、図23に示す平面図のVI-VI線における断面図を示したものである。そして、図25～27は、それぞれ図23及び24に続く工程を経時的に示す断面図である。基板100には厚さ200μm、結晶方

位 100 面の単結晶シリコンウェハを用いた。

【0057】最初に、図 23 及び 24 に示すように、基板 100 の主面 100A 上にスピンコート法によってポリイミド膜を厚さ $5\mu\text{m}$ に形成した。そして、RIE により片持ち梁形状のネガパターン 12 を形成した。次いで、図 25 に示すように、 $\text{Zr}_{66}\text{Cu}_{33}\text{Al}_1$ の金属ガラスからなる薄膜 104 を、高周波マグネトロンスパッタリング法により基板 100 の主面 100A 上に厚さ $2\mu\text{m}$ に形成した。そして、薄膜 104 を形成する際に、スパッタリング条件を雰囲気圧力 0.03Pa 、スパッタ出力 150W とすることによって、基板 100 の主面 100A が薄膜 104 を構成する元素によって逆スパッタされるようにした。その結果、基板 100 と薄膜 104 との間に、前記金属ガラス粒子と基板を構成するシリコン粒子とが混合して形成された約 20nm の厚さの混合層 105 が形成された。

【0058】次いで、基板 100 の裏面 100B 側にレジストからなる保護層 106 をスピンコートにより厚さ約 $1\mu\text{m}$ に形成した。次いで、図 26 に示すように、 80°C に加熱した水酸化カリウム（濃度約 40 重量%）に 2 時間浸漬させることによってウェットエッチングを行い、ネガパターン 102 を除去した。さらに、薄膜 104 及び混合層 105 をパターニング（リフトオフ）するとともに、基板 104 を異方性エッチングすることによってエッチピット 107 を形成した。その後、基板 100 の全体をメチルエチルケトンに 5 分間浸漬させることによって保護層 15 を除去した。

【0059】次いで、図 27 に示すように、薄膜 104 上に熱電対 17 及びチタン箔（厚さ $50\mu\text{m}$ ）のカバー 18 を設置し、このアセンブリを真空容器 19 中に入れた。そして、赤外線ヒータ 21 によって加熱速度 $10^\circ\text{C}/\text{分}$ で 660°C まで薄膜 104 を加熱した。すると、混合層 105 及び薄膜 104 の熱膨脹係数の差から両者の界面に応力が生じる。この場合、混合層 105 の熱膨脹係数が薄膜 104 の熱膨脹係数よりも小さいので、薄膜 104 には混合層 105 から圧縮応力が作用する。したがって、薄膜 104 は下方に向かって変形した。

【0060】図 28 は、薄膜 104 のたわみ量を加熱前後で測定した結果を示すものである。図 28 から明らかなように、加熱前において薄膜 104 はほとんど変化していないが、加熱後においてはバイモルフ効果によって大きくたわんでいることが分かる。すなわち、本実施例の方法によって片持ち梁構造の薄膜構造体を形成できることが確認された。

【0061】以上、具体例を挙げながら、本発明の発明の実施に形態に則して説明してきたが、本発明は上記内容に限定されるものではなく、本発明の範疇を逸脱しない限りにおいて、あらゆる変形や変更が可能である。

【0062】

【発明の効果】本発明の薄膜構造体は、過冷却液体域を

有する非晶質材料から薄膜構造体を構成し、このような非晶質材料の過冷却液体域前後による特異な物性を利用して薄膜構造体を形成するようにしている。このため、高い生産性と高い再現性とを有し、成形後の形状安定性に優れた薄膜構造体を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の薄膜構造体の製造方法の一例における、最初の工程を示す平面図である。

【図 2】 図 1 に示す工程の後の工程を示す平面図である。

【図 3】 図 2 に示す平面図の II—II 線における断面図である。

【図 4】 図 3 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 5】 図 4 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 6】 本発明の薄膜構造体の製造方法の他の例における、最初の工程を示す平面図である。

【図 7】 図 6 に示す工程の後の工程を示す平面図である。

【図 8】 図 7 に示す平面図の III—III 線における断面図である。

【図 9】 図 8 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 10】 図 9 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 11】 本発明の薄膜構造体の製造方法のその他の例における、最初の工程を示す平面図である。

【図 12】 図 11 に示す平面図の IV—IV 線における断面図である。

【図 13】 図 11 及び 12 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 14】 図 13 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 15】 図 14 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 16】 図 15 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 17】 本発明の薄膜構造体の製造方法の一例における、最初の工程を示す平面図である。

【図 18】 図 17 に示す平面図の V—V 線における断面図である。

【図 19】 図 17 及び 18 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 20】 図 19 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 21】 図 20 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 22】 図 21 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 23】 本発明の薄膜構造体の製造方法の他の例において、最初の工程を示す平面図である。

【図 24】 図 23 に示す平面図の VI-VI 線における断面図である。

【図 25】 図 23 及び 24 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 26】 図 25 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 27】 図 26 に示す工程の後の工程を示す断面図である。

【図 28】 本発明の薄膜構造体を構成する薄膜の、過冷却液体域に加熱する前後におけるたわみ量を示す図である。

【符号の説明】

- | | |
|--------------------|-------------------|
| 17 熱電対 | 47、62、78、97 加熱装置 |
| 18 カバー | 48、63、82、99 薄膜構造体 |
| 19 真空容器 | 51 クロム薄膜 |
| 20 石英ガラス窓 | 54、77、107 エッチピット |
| 21 赤外線ヒータ | 56 石英ガラス窓 |
| 22 温度調節器 | 57 クロム電極 |
| 40、50、70、90、100 基板 | 58 絶縁層 |
| 41 犠牲層 | 59 成形用電極 |
| 42、52、73、93 薄膜 | 60 ガラスビーズ |
| 43 マスク | 61 外部電源 |
| 44 貫通孔 | 72、92、102 ネガパターン |
| 46 治具 | 74 磁性層 |
| | 75、94、106 保護層 |
| | 79 シャフト |
| | 80 永久磁石 |
| | 81 冷却管 |
| | 95 片持ち梁構造の薄膜 |
| | 96 基板の基部 |
| | 98 クロム層 |
| | 105 混合層 |

【手続補正 2】

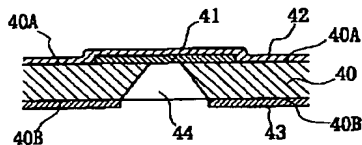
【補正対象書類名】 図面

【補正対象項目名】 全図

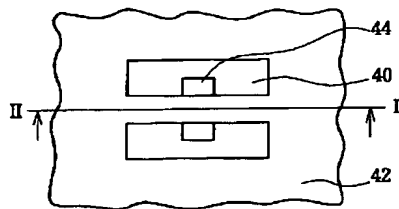
【補正方法】 変更

【補正内容】

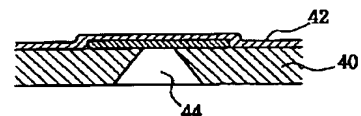
【図 1】



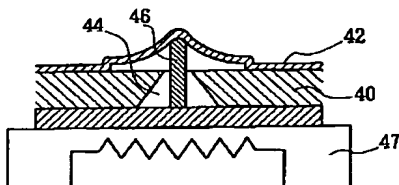
【図 2】



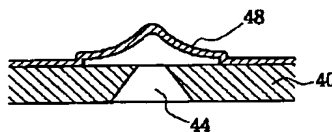
【図 3】



【図 4】



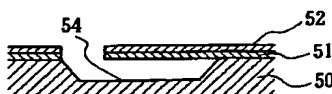
【図 5】



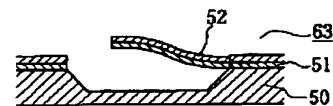
【図 6】



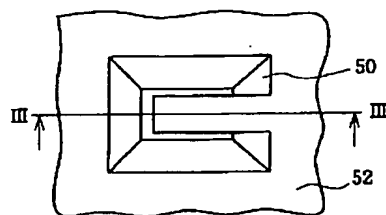
【図 8】



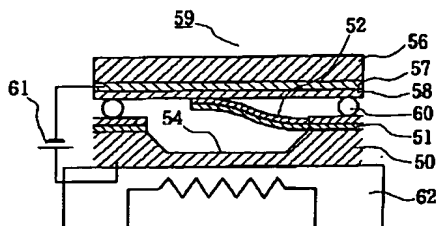
【図 10】



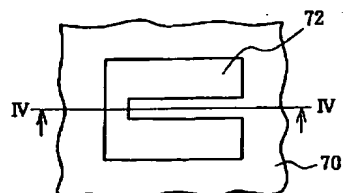
【図7】



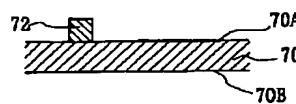
【図9】



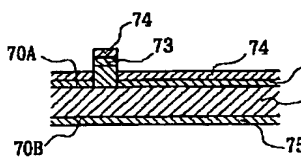
【図11】



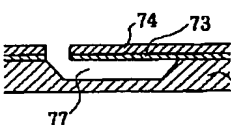
【図12】



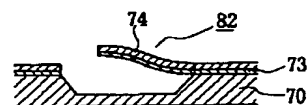
【図13】



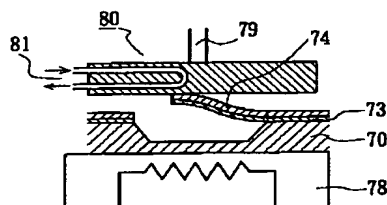
【図14】



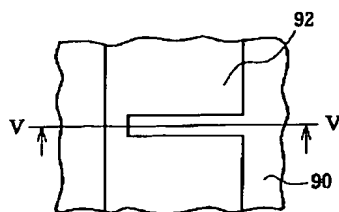
【図16】



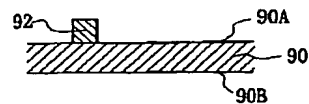
【図15】



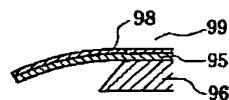
【図17】



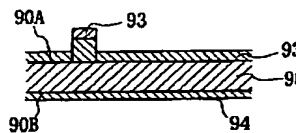
【図18】



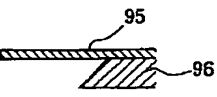
【図22】



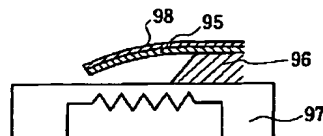
【図19】



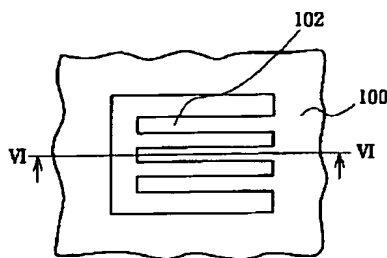
【図20】



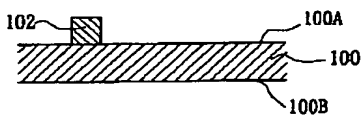
【図21】



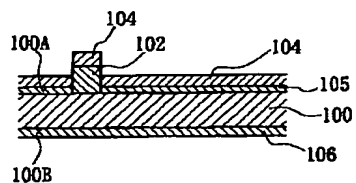
【図23】



【図24】



【図25】



【図26】

